

BORON ÇELİĞİNDEN ÜRETİLMİŞ TORSİYON TİPİ ARKA AKS ARA BAĞLANTI BORUSUNUN ELEKTRİK DİRENÇ YÖNTEMİ İLE ISIL İŞLEMİ

Merve Çıbık¹, Mesut Kaya², Metin Çallı³ ve Yalçın Metuçin⁴
^{1,2,3,4} Coşkunöz Kalıp Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa

ABSTRACT

Automotive industry studies for new generation advanced high strength materials and processes in terms of the compliance with new legal requirements, focusing on weight reduction for vehicle components. Hot forming process at a temperature above the austenitizing temperature has become widespread in the industry due to the production of more durable and lighter parts.

One of the products evaluated for weight reduction in automotive is the semi-independent rear axle, which is the most preferred in terms of price / performance in passenger cars with high production numbers. Some of the semi-independent rear axles are manufactured as a tubular beam with non-uniform cross-section using a hot forming steel. The non-uniform cross section of the tubular rear axle beam allows to remove anti roll bar, providing vehicle dynamics requirement, and makes the vehicle lighter as well.

The tubular rear axle beams meet the roll motion, which is a significant requirement of vehicle dynamics, without the need for any components. For this reason, the beam should have high strength. Hot forming steels used for beams are heat treated in order to provide the durability. The induction heating method, which is an expensive solution for the heat treatment process, is preferred mostly. As the installation of the hot forming infrastructure requires high investment costs, the investigation of new methods has been accelerated. Heating by electric current (electric resistance method) is one of these new methods. Hence the sheet material is heated by using the heat generated by the electric current, sheet can be formed easily.

This study includes the finite element analysis of heat treatment process for the non-uniform rear axle beam made from the boron (22MnB5) steel using electric currents method and the comparison of the physical temperature distributions in the pipe sections on the electrical resistance test apparatus getting measurements from pyrometer with CAE results.

ÖZET

Otomotiv endüstrisi, yeni yasal gerekliliklere uyum amacı ile araç komponentleri üzerinde ağırlık azaltma çalışmalarına odaklanarak yüksek mukavemetli yeni nesil malzemeler ve prosesler üzerine çalışmaktadır. Östenitleşme sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta gerçekleştirilen sıcak şekillendirme işlemi, daha dayanıklı ve daha hafif parçaların üretilmesi sayesinde sektörde yaygın hale gelmiştir.

Ağırlık hafifletme çalışmalarında ele alınan ürünlerden bir tanesi, yüksek üretim sayılarına sahip olan binek araçlarda fiyat/performans açısından en çok tercih edilen yarı bağımsız arka akslardır. Yarı bağımsız arka aksların bir kısmı, uniform olmayan bir kesite sahip sıcak şekillendirme çeliğinden üretilmiş boru ara kirişten oluşur. Borudan formlu arka aks kirişi, sahip olduğu uniform olmayan kesit sayesinde araç dinamiği beklentilerini sağlayarak yalpa çubuğunun ortadan kaldırılmasını, bu sayede aracın daha hafif olmasını sağlar.

Borudan formlu arka aks kirişleri araç dinamiğinin önemli bir beklentisi olan yalpa hareketini herhangi bir elemana ihtiyaç duymadan tek başına karşılamaktadır. Bu sebeple ara kirişin yüksek dayanıma sahip olması gerekmektedir. Dayanım beklentisini sağlamak amacıyla ara kirişlerde kullanılan sıcak şekillendirme çeliklere ısıtma işlemi uygulanarak yüksek mukavemet kazandırılmaktadır. Isıtma işlemi için pahalı bir çözüm olan indüksiyon ile ısıtma yöntemi tercih edilmektedir. Sıcak şekillendirme altyapısının kurulumu yüksek yatırım maliyeti gerektirdiği için yeni yöntemlerin araştırılmasına hız verilmiştir. Elektrik akımı (elektrik direnç yöntemi) ile ısıtma yöntemi de bu yeni yöntemlerden birisidir. Sac malzemeden elektrik akımı geçmesi ile oluşan ısıdan faydalanarak sac malzemeler ısıtılmakta ve bu sayede daha kolay şekillendirilebilmektedir.

Bu çalışma, boron (22MnB5) çeliğinden üretilmiş uniform olmayan arka aks borusunun yüksek miktarda akım geçirilerek ısıtılması işleminin, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz çalışmalarını ve elektrik direnç test aparatında fiziksel olarak ısıtılıp boru kesitlerinde oluşan sıcaklık dağılımlarının pirometre ölçümleri ile kıyaslama çalışmalarını kapsamaktadır.

1.GİRİŞ

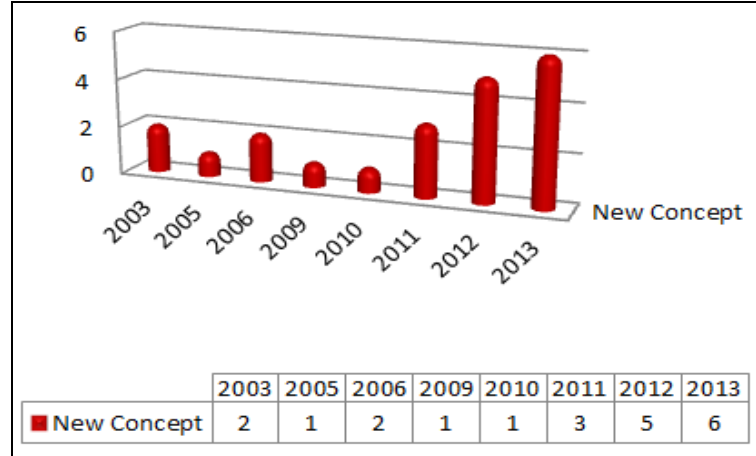
Son yıllarda araç hafifletme projeleri; karbon emisyonunu azaltmanın yanında, yakıt tasarrufu açısından da önemli bir fayda getireceği için otomotiv sanayinin öncelikli hedefleri haline gelmiştir. Dünyadaki karbondioksit oranının %20'si otomobillerden kaynaklanmaktadır. Bu oranin ileriki yıllarda daha da artması beklenmektedir. Araç hafifletme hedefleri doğrultusunda araç üreticileri yeni tasarımlar, farklı üretim yöntemleri ve yeni nesil malzemelerle ilgili yoğun olarak çalışmaktadır. [1]

Avrupa Birliği tarafından, karbondioksit emisyonu hedeflerine ulaşamayan araçlar için önümüzdeki yıllardan itibaren araç başına araç üreticilerine cezai işlem uygulanacaktır. Bu cezai yaptırımlar Çizelge-1'de belirtilmiştir.[2]

Çizelge 1- Avrupa Birliği Karbon Emisyonu Cezaları [2]

CO ₂ (g/km)	1	2	3	> +3
Ceza (€)	5 €	15 €	25 €	95 €

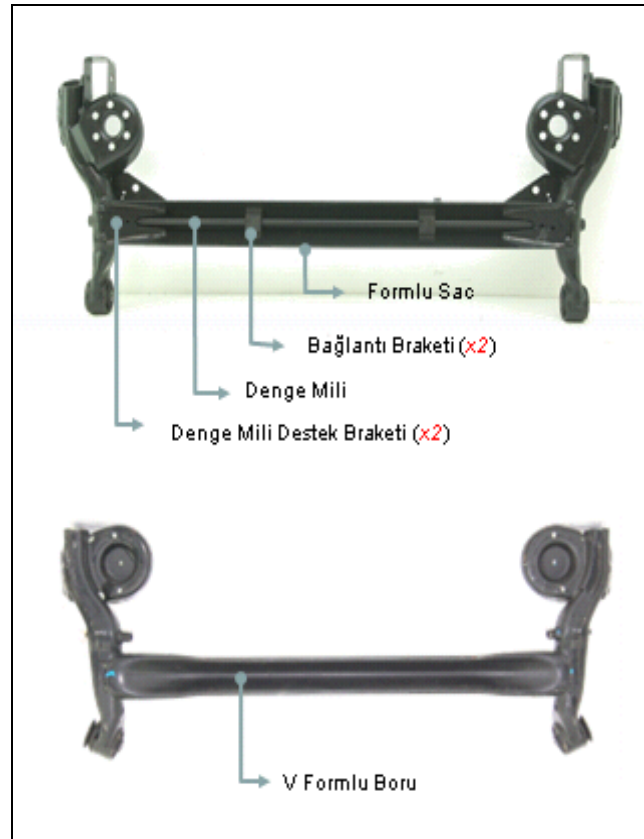
Yapılan kıyaslama sonunda 2003 -2013 yılları arasında üretilmiş B segmentinde yer alan yarı bağımsız süspansiyona sahip 41 araç modeli incelendiğinde bunlardan 21 adedinin borudan V formlanmış arka aksa sahip olduğu görülmüştür. Bu kıyaslama çalışması yıllara göre Şekil 2 da belirtilmiştir. Kıyaslama çalışmalarımızda, V formlanmış borulu ara bağlantılı arka aksların; B segmenti dışında A ve C segmenti araçlarda da kullanıldığı görülmüştür. [2]



Şekil 1 - Yıllara Göre V Formlu Boru Kullanımı[2]

V formlanmış bir arka aks borusunun kullanılmasıyla:

- 1) Maliyet,
- 2) Ağırlık,
- 3) Montaj süresi,
- 4) CO₂ emisyonu gibi faktörlerin azaltılmasında katkı sağlar.



Şekil 2 - Arka Aks Süspansiyon Sistemi Karşılaştırma [2]

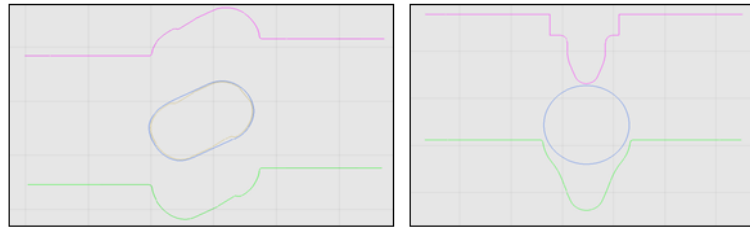
2. V FORMLANMIŞ ARKA AKS BAĞLANTI BORUSU ÜRETİMİ

V formulu arka aks borusu temel olarak 2 adımda formlanmaktadır:

- Ön form verme ,
- Ana form verme operasyonlarıdır.

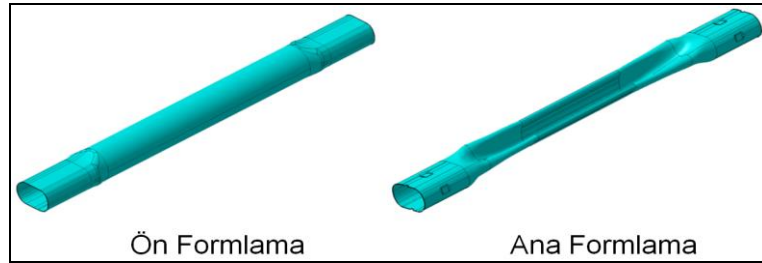
Formlanan arka aks bağlantı borusu ısıtma işlemi ile sertleştirilmekte, parçanın uç kısımları, kaynak edilecek diğer parçaların yüzey formuna uygun olacak şekilde lazer ile kesilmektedir.

Borulu arka akslarda beklentiler doğrultusunda hem dikişli hem de dikişsiz borular formlanabilmektedir. Dikişli ve dikişsiz boruların birbirine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Çalışmamıza konu olan prototip parça üretiminde operasyonlar dikişli boru ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3 - Formlama Operasyonu Kesit Görüntüsü

Yapılan prototip kalıplarda döküm konstrüksiyon yerine çeliklerin kaynatılması ile elde edilmiş konstrüksiyon tercih edilmiştir.



Şekil 4 - Formlama Operasyonları

3.V FORMLANMIŞ ARKA AKS BAĞLANTI BORUSU ISIL İŞLEMİ

22MnB5 çeliğinin aşağıdaki süreçlerin simülasyonu için gerekli malzeme verileri deneysel ve hesaplamalı yöntemlerle elde edilmiştir:

- Fırında ısıtma ve su verme
- Doğrudan dirençle ısıtma ve su verme
- İndüksiyonla ısıtma ve su verme

Verilere daha yüksek genişleme hızlarında akma eğrileri eklenerek sıcak sac şekillendirme (hot-stamping/press hardening) simülasyonlarında da kullanılabilir.

Veriler MSc.Marc® ticari yazılımı malzeme kartına çevrilmiş ve simülasyonlarda kullanılmıştır. Veriler başka paket programların formatına da dönüştürülebilir şekilde elde

edilmiştir.

Termofiziksel özelliklerin hesaplanması için termodinamik esaslı malzeme özellikleri hesaplama yöntemi ve JmatPro® yazılımı kullanılmıştır.

Testler *Dynamic Systems Inc.* üretimi, *Gleeble 3800* Termal-Mekanik Fiziksel Simülasyon Sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

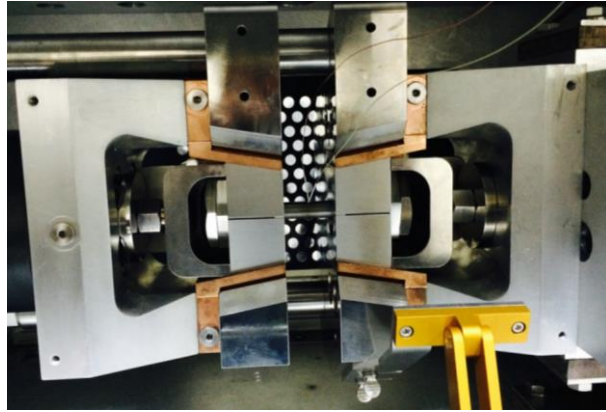
Bahsi geçen değişim ünitesinin yetenekleri :

- Çekme ve Basma Gücü: 10 ton
- Genleme Hızı ve Limiti: 2.000 mm/s – 250mm/s
- Isıtma soğutma hızı: 10.000 °C/s*

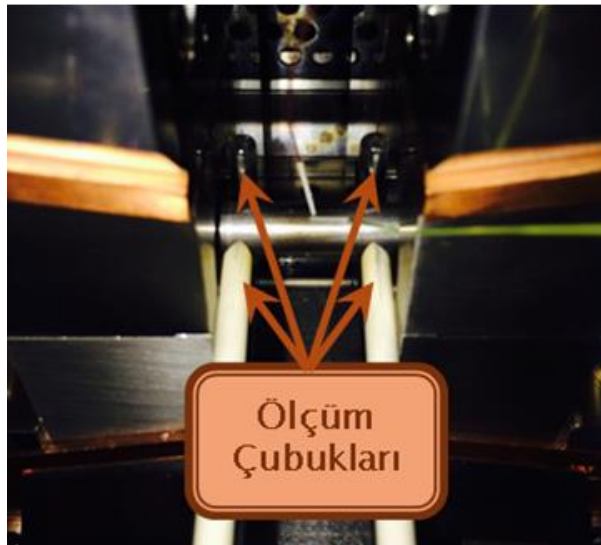
Testlerde sıcaklık ölçümü K tipi ısılıçift ile yapılmıştır.

Su verme işlemi için test odası üzerinde yer alan su/hava karışımı püskürten su verme sistemi kullanılmıştır.

Genleşme bilgisi *HZT072* LVDT sistemi ile numune üzerindeki slotlar arasında enlemesine ölçülmüştür.



Şekil 5 - Gleeble odacığının içi. (Ölçüm ünitesi takılı değil)



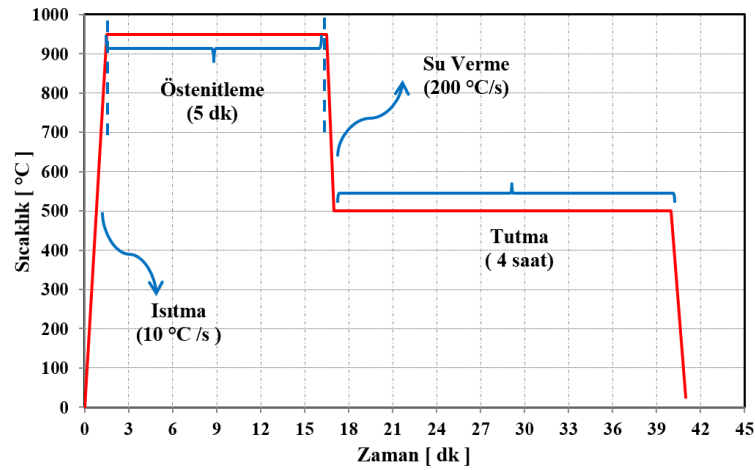
Şekil 6 - Ölçüm ünitesi, ısılı çift ve numunenin kendisi

Numuneler Gleeble 3800 sistemine yerleştirildikten sonra aşağıdaki sıcaklık programı uygulanırken yarıklar arasındaki mesafe ölçülmüştür:

- 950 °C'ye 10 C/s hızında ısıtılmıştır ve bu sıcaklıkta 5 dakika tutulmuştur.
- 950 C'den 400 – 800 C arasında 50 C aralıklarla değişik sıcaklıklara 200 C/s hızla su verilmiştir.

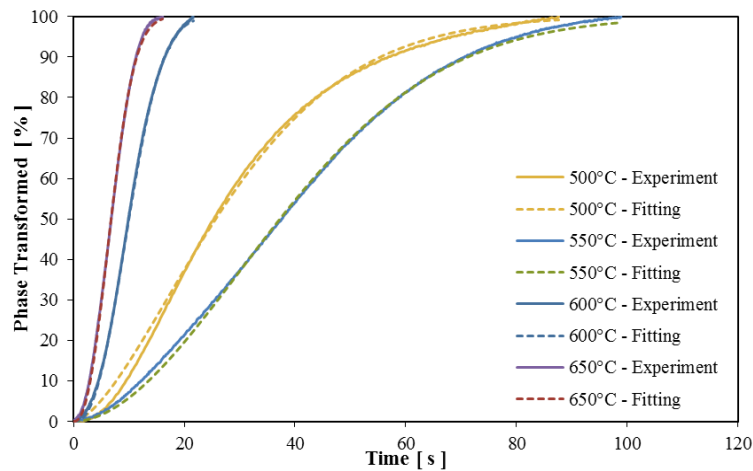
Numuneler 4 saat boyunca test sıcaklığında tutulmuş ve bu sürede slotlar arasındaki mesafenin değişimi 10 Hz hızında kaydedilmiştir.

Çizelge 2 - Testler sonucunda elde edilen uzama-zaman grafiği



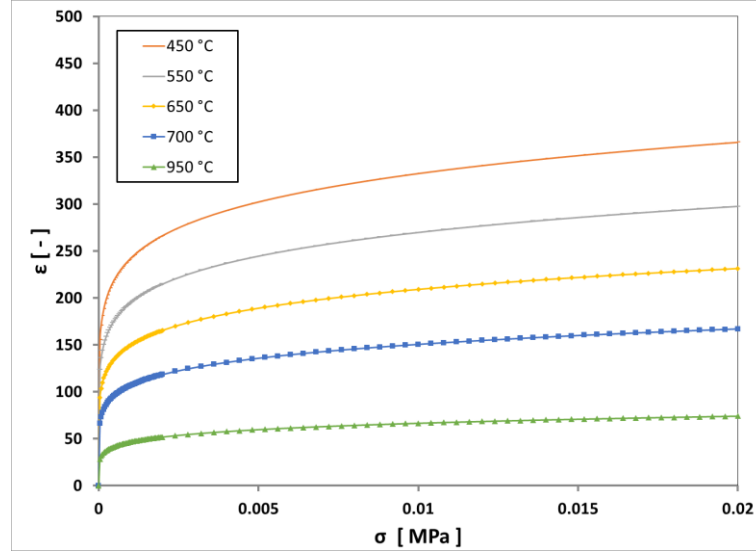
Cihazdan toplanan uzama-zaman verileri MS.Excel® formatındaki dosyalara aktarılmıştır. Tüm numuneler metalografik olarak hazırlanıp hangi fazlar olduğu belirlenmiştir. İzotermal bekleme sırasında göreceli mesafe değişimine karşı zaman grafiği elde edilmiştir. Göreceli uzama değerleri dönüşmüş faz miktarlarına çevrildikten sonra elde edilen veriye Johnson-Mehl-Avrami (JMA) modeli parametreleri oturtulmuştur. Oturtulan parametreler üzerinden %1 ve %99 dönüşüm zamanları hesaplanarak bir tablo haline getirilmiştir. Elde edilen tablo grafiksel olarak TTT diyagramına dönüştürülmüştür.

Çizelge 3 - JMA modeline sonuçların oturtulması



Cihazdan toplanan uzama-zaman veriler MS.Excel® formatındaki dosyalara aktarılmıştır. Toplam genlemeden elastik genlemeler çıkarılarak plastik genleme hesaplanmıştır. Plastik genleme – Gerilme verisine Ramberg-Osgood ($\sigma = K_r \epsilon_{pl}^n$) modelinin K_r ve n parameterleri Excel Solver ile her sıcaklık için hesaplanmıştır. Elastik özellikler önceki bölümde hesaplamalı yöntemlerle hesaplanan özelliklerdir. Elde edilen K ve n parametreleri ve R-O modeliyle 0.00005 ofseti kullanılarak akma dayancı bulunmuştur.

Çizelge 4 - σ - ϵ Grafiği



Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 22MnB5 çeliğinden üretilmiş soğuk şekillendirilmiş borudan akım geçirilerek ısıtılmasının simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Daha önce hazırlanan model iyileştirilmiş ve firmadaki koşullara yaklaşılmaya çalışılmıştır. Firmada gerçekleştirilen ısıtma deneyinde yapılan pirometre ölçümlerine göre ısı iletimi sınır koşulları belirlenmesi için bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyonlar MSC.Marc® 2012 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Isıl-Elektriksel bağdaştırılmış analiz (Joule ısıtma) seçeneği kullanılmıştır.

Firmadaki sistemde yapılan gözlemlere dayanarak aşağıdaki iyileştirmeler yapılmıştır :

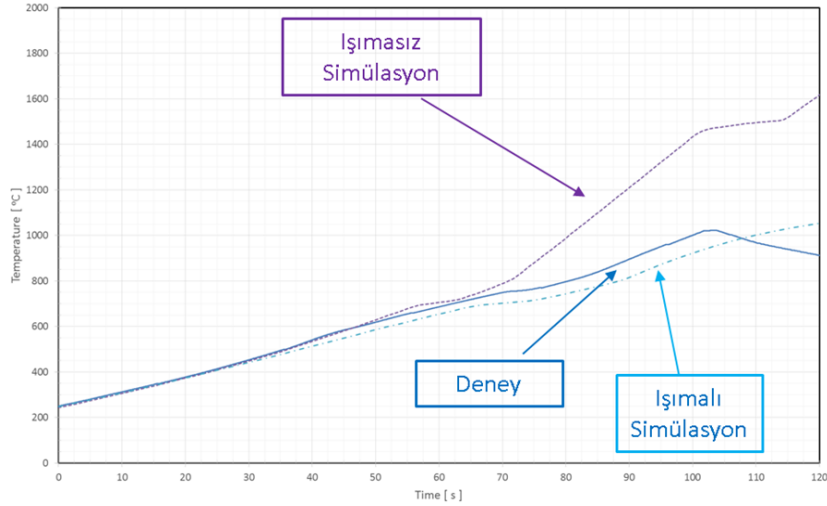
- Uygulanan akım bölgesi firmadaki uygulamaya daha yakın hale getirilmiştir.
- Tek taraftan değil 2 yönden giren ve çıkan akım şeklinde akım uygulanmıştır.
- Bakır çeneler ve boru arasında önceki modelde durağan hava ile ilgili ısı iletim katsayısı uygulanmıştı, yeni uygulamada çok daha yüksek olan metal – metal ısı iletim katsayısı uygulanmıştır.
- Önceki modelde ışımayla ısı iletimi ihmal edilmişti, bu ısıma kavramı değişik modellerle irdelenerek modele eklenmiştir.

Kara cisim ışıması bazlı ısıma analizi :

- Sabit ısıma katsayısı
- Sıcaklığa göre değişen ısıma katsayısı
- Görme faktörü (view factor) bazlı ısıma analizi
- Önceki analizlerde «denge» koşullarındaki malzeme özellikleri kullanılmıştı, yeni analizlerde ısıtma sırasında 7 C/s hızına göre hesaplanan özellikler kullanılmıştır.

Modelde yapılan bu değişiklikler sonucunda modeldeki sonuçların deneye yaklaşması sağlanmıştır.

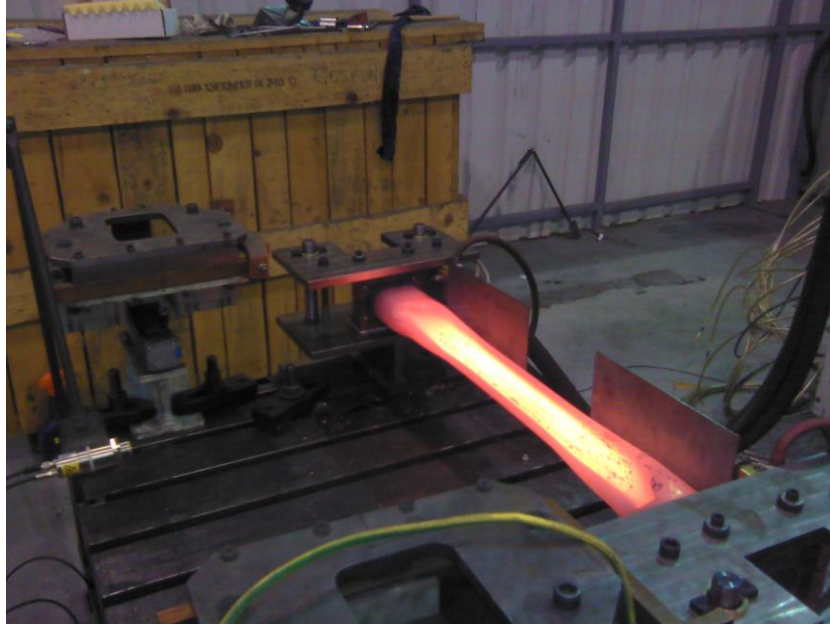
Çizelge 5 - Deneysel Sonuçların Simülasyonlarla Kıyaslanması



Isımanın ihmal edildiği durumda numunenin özellikle 700 C üzerinde deneye göre çok hızlı ısındığı gözlemlenmiştir. Bunun nedenin ısıma kayıplarının ihmal olabileceği düşünülmüştür ve modele sabit bir ısıma katsayısı ile kara cisim ısıma kayıpları (cavity radiation) eklenmiştir. Bunun sonucunda hatırı sayılır bir iyileşme gözlenmiştir.



Şekil 7 - ısıma kayıplarının simülasyona eklenmesi



Şekil 8 - Prototip üretimler

4.SONUÇLAR

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 22MnB5 çeliğinden üretilmiş formlu borunun şiddetli akım geçirilerek ısıtılmasının simülasyonlar vasıtasıyla örnek durum analizleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar süreciyle ısınma mekanizması çözümlenmiştir ve görülmüştür ki konveks ve kalın kesitler daha hızlı ısınmakta; konkav ve ince kesitler daha yavaş ısınmaktadır. Sabit akım şiddeti kullanılarak formlu boruyu ısıtma işlemi için ısıtmak mümkün değildir. Parçada en sıcak bölge östenitleme sıcaklığına ulaştığında, parçanın büyük bölümü ya hiç ya da kısmi olarak östenitlenmektedir. En soğuk bölge östenitleme sıcaklığına ulaştığında, parçanın önemli bir bölümü likidus sıcaklığını geçip erimeye başlamaktadır. Yüksek sıcaklık farkları ısıtma ve faz dönüşümü gerilmeleri nedeniyle düşük sıcaklıklarda çatlama, yüksek sıcaklıklarda çarpılmaya neden olabilir.

5.TEŞEKKÜR

Bu çalışmada gerçekleştirilen analizlerde değerli fikirleri ve yardımlarıyla bizlere katkı sağlayan Sayın Yrd.Doç.Dr.Caner Şimşir'e teşekkür ederiz.

6.KAYNAKLAR

1. Öztürk Fahrettin, Toros Serkan, Esener Emre, Uysal Emrah (2009) Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımının İncelenmesi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makine Dergisi
2. Çallı Metin, Kaya Mesut, Yiğitoğlu Emre, Sığırtmaç Tayfun (2014) V Formlanmış Arka Aks Bağlantı Borusu Üretim Süreci ve Formlama Analizleri, Otekon 2014
3. M.E.B. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi (2007) Motorlu Araçlar Teknolojisi Süspansiyon Sistemleri Kitabı
4. Çallı Metin, Kaya Mesut (2013) Process Simulation of Tube Stamping on Hyperworks Platform, 2013 Altair Technology Conference
5. Guilherme Costa Carneiro, Gustavo Araujo da Costa, Hersen Hays Santos Macedo, Adriano Akio Koga, (2013) Design of a torsion beam suspension with an optimized elastokinematic behavior- SAE 2013/ 2013-036-0232

6. Satchell Terry L., (1981) The Design of Trailing Twist Axles International Congress and Exposition Cobo Hall, Detroit, Michigan February 23-27,1981
7. Gillespie Thomas D., Fundamentals of Vehicle Dynamics
8. Çallı Metin, Karadağ Vedat (2012) Bir Taşıtın Lastik-Zemin İlişkisi ve Yalpa Hareketi, Otekon 2012
9. Çallı Metin, Kaya Mesut, Metuçin Yalçın, Yiğitoğlu Emre (2015) A Study on DOE of Tubular Rear Axle Twist Beam Using Hyperstudy, 2015 Altair Technology Conference
10. Çallı Metin, Kaya Mesut, Yiğitoğlu Emre, Sığırtaç Tayfun (2014)Salıncak Kolu Parçasının Yüksek Mukavemetli Saclardan Geliştirilmesi Ve Optimizasyonu, Otekon 2014
11. Lin Liao, (2011)A Study of Inertia Relief Analysis,, 52nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference
12. D.C. Lee, J.H. Byun, (1999) A study on the structural characteristics and roll behavior of suspension for the section profile of torsion beam, Trans. KSAE 7 (9) 195–202.
13. J. Kang, (1978) Kinematic analysis of torsion beam rear suspension, Trans. KSAE 12 (5) (2004) 146–153.
14. D.C. Lee, C.S. Han, (2008) A frequency response function-based updating technique for the finite element model of automotive structures, Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng. 222 (10) (2008) 1781–1791.
15. Marciniak Z., Duncan J.L., Hu S.J. Mechanics of Sheet Metal Forming
16. Reimpell J., Stoll H., Betzler J.W., The Automotive Chassis
17. Dongchan Lee, ChulhoYang, (2013)An analytical approach for design and performance evaluation of torsion beam rear suspension- - Finite Elements in Analysis and Design 63 (2013) 98–106 / 2013]
18. H. Horntrich, (1981) Rear suspension design with front wheel drive vehicles, SAE 810421 (1981).
19. H. Shimatani, S. Murata, K. Watanabe, T. Kaneko, H. Sakai, (1999)Development of torsion beam rear suspension system with toe control links, SAE (1999) 1999-01-0045.
20. T.L. Satchell, (1981)The design trailing twist axles, SAE 810420 (1981).
21. J.M. Lee, J.R. Yun, J.S. Kang, S.W. Bae, (1997)A study on the steady-state cornering of a vehicle considering roll motion, Trans. KSAE 5 (6) (1997) 89–102.
22. H. Sugiura, Y. Mizutani, H. Nishigaki, (2002)First-order analysis for automotive suspension design, R&D Rev. Toyota CRDL 37 (1) (2002) 25–30.
23. A.C. Ugural, S.K. Fenster, (1995) Advanced Strength and Applied Elasticity, third ed., Prentice-Hall, New Jersey, USA, 1995.
24. S.P. Timoshenko, J.M. Gere, (1963)Theory of Elastic Stability, second ed., McGraw-Hill, New York, USA, 1963.
25. S.H. Crandall, N.C. Dahl, T.J. Lardner, An Introduction to the Mechanics of Solids, second ed., McGraw-Hill, New York, USA, 1978.